

## 明細書

## プラズマ処理装置

## 5 技術分野

本発明はプラズマ処理装置に関し、特に、チャンバ内にマイクロ波を導入することにより形成されるプラズマ生成領域によって、基板に所定の処理を施すためのプラズマ処理装置に関するものである。

## 10 背景技術

近年、半導体装置の高密度化および微細化に伴って、半導体装置の製造工程において、成膜、エッチング、アッシング等の処理を施すためにプラズマ処理装置が使用されている。特に、マイクロ波を用いてプラズマを発生させるマイクロ波プラズマ処理装置では、約0.1～10Paの比較的圧力が低い（高真空）条件のもとでも安定してプラズマを発生させることができる。そのため、たとえば周波数2.45GHzのマイクロ波を用いたマイクロ波プラズマ処理装置が注目されている。

そのような従来のプラズマ処理装置の一例について説明する。図6に示すように、プラズマ処理装置は、基板115を収容して所定の処理を施すためのチャンバ101と、マイクロ波を発生するため高周波電源109と、マイクロ波をプラズマ処理装置まで導くための導波管119と、マイクロ波をチャンバ101内に放射するためのアンテナ部107とを備えている。

アンテナ部107は、導波管119の下端に接続される金属製のラジアル導波路107aと、ラジアル導波路107の下端の開口を覆う円板状のスロットアンテナ107bを備えている。スロットアンテナ107bの上の導波管119と対向する位置には、インピーダンスの調整を行うためのバンプ108が設けられている。また、導波路107a内には大気が存在する。

スロットアンテナ107bは、たとえば厚さ0.1mmから数mm程度の銅板等から形成されている。そのスロットアンテナ107bには、マイクロ波をチャ

ンバ１０１内に向けて放射するための複数のスロット（開口部）が設けられている。

チャンバ１０１の上部には、チャンバ１０１の隔壁の一部を構成する天板１０５が配設されている。天板１１５は、たとえば石英等の誘電体から形成されている。天板１０５とチャンバ１０１の隔壁との間には、たとえばＯリングなどのシール部材１１３が設けられている。アンテナ部１０７はこの天板１０５の上方に間隔を隔てて配置され、アンテナ部１０７と天板１０５との間には空気の層１２０が形成されている。

チャンバ１０１内には基板１１５を保持するためのサセプタ１０３が設けられている。そのサセプタ１０３には、バイアス用高周波電源１１１が接続されている。さらに、チャンバ１０１には、チャンバ１０１内を排気するための真空ポンプ（図示せず）が取り付けられている。

上述したプラズマ装置では、真空ポンプによりチャンバ１０１内が排気されて、所定の圧力範囲のもとでプラズマを生成するためのガスとして、たとえばアルゴンガスがチャンバ１０１内に導入される。

高周波電源１０９により発生したＴＥ１１モードのマイクロ波は、円偏波変換器（図示せず）により導波管１１９の軸線の回りに回転させられて導波管１１９を伝わり、アンテナ部１０７のラジアル導波路１０７ａに到達する。

ラジアル導波路１０７ａに到達したマイクロ波は、ラジアル導波路１０７ａの周縁方向へ伝播する。周縁方向へ伝播するマイクロ波は、スロットアンテナ１０７ｂを介してチャンバ１０１内に電磁界を発生させる。

チャンバ１０１内に発生した電磁界によってアルゴンガスが解離し、基板１１５と天板１０５との間にプラズマ生成領域が形成されて、所定のプラズマ処理が行なわれる。

しかしながら、従来のプラズマ処理装置では次のような問題点があった。まず、ラジアル導波路１０７ａに到達してラジアル導波路１０７ａの周縁方向へ伝播するマイクロ波がラジアル導波路１０７ａの内周面によって反射されて、ラジアル導波路１０７ａ内には第１の定在波が形成される。

また、スロットアンテナ１０７ｂから放射されるマイクロ波と、そのマイクロ

波がチャンバ101内に生成したプラズマ生成領域によって反射されて戻ってくるマイクロ波との相互結合によって、天板105と空気の層120が位置する領域に第2の定在波が形成される。

チャンバ101内のプラズマ生成領域は、上述した第1の定在波と第2の定在波との相互結合によって維持されることになる。このとき、第1の定在波と第2の定在波との相互結合が比較的弱い場合には、プラズマ生成領域の維持に第2の定在波の寄与が支配的になる傾向にある。

一方、この第2の定在波は、チャンバ101内の圧力、チャンバ内に導入されるガスの種類、あるいは供給する電力量等のプロセス条件によって変動しやすいという傾向がある。

ところで、図6に示すように、第1の定在波はラジアル導波路107aの内径PAと給電されるマイクロ波のモードに依存して形成され、第2の定在波は、天板105と空気の層120が位置する領域の内径PBとプラズマの状況に依存して形成される。

さらに、第2の定在波の形成にはプラズマ生成領域によって反射されて戻ってくるマイクロ波も関与するため、プラズマ生成領域の大きさにも依存することになる。プラズマ生成領域の大きさはチャンバ101の内径PCに制約される。したがって、第2の定在波はチャンバ101の内径PCにも依存して形成されることになる。

しかしながら、従来のプラズマ処理装置では、ラジアル導波路107aの内径PA、天板105と空気の層120が位置する領域の内径PBおよびチャンバ101の内径PCは任意に設定されているため、各PA、PB、PCの寸法によっては、プラズマ生成領域の維持に第2の定在波の寄与が支配的になることがある。

上記のように、第2の定在波は、チャンバ101内の圧力等のプロセス条件によって変動しやすい。このため、プラズマ生成領域の維持にこのような不安定な第2の定在波の寄与が支配的になると、プラズマ生成領域を形成するための電磁界を制御することが困難になる。

電磁界の制御が困難になると、チャンバ101内にてプラズマ密度にばらつきが生じることになる。その結果、基板面内におけるプラズマ処理の程度にばらつき

きが生じ、たとえばエッチングレートや成膜レートにばらつきが生じるという問題が発生する。

#### 発明の開示

- 5       本発明は上記問題点を解決するためになされたものであり、プラズマ生成領域を形成するための電磁界を制御して、プラズマ密度の均一なプラズマ生成領域が形成されるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

- 10       本発明に係るプラズマ処理装置は、基板をプラズマ生成領域に晒して所定の処理を施すためのプラズマ処理装置であって、チャンバーと天板部とアンテナ部とを備えている。チャンバには基板が収容される。天板部は、チャンバ内に導入される基板の上方に配置され、チャンバの隔壁の一部をなす。アンテナ部は、チャンバ内に高周波電磁界を供給することにより、チャンバー内における天板部と基板部との間の領域にプラズマ生成領域を形成する。そのアンテナ部は所定の内径を有するラジアル導波路を含んでいる。チャンバは、天板部およびアンテナ部が位置する部分では所定の内径を有している。そのラジアル導波路の内径をA、天板部およびアンテナ部が位置する部分の内径をB、天板部の誘電率と天板部およびアンテナ部が位置する部分の空間の誘電率との合成誘電率に基づく高周波電磁界の波長を $\lambda_g$ とすると、およそ次の式、 $(B-A)/2 = (\lambda_g/2) \cdot N$ を満たすように設定されている。なお、Nは、0または自然数である。また、この関係式において、 $\lambda_g/10$ 程度の寸法誤差はこの関係を満たすものと解される。

- 20       この構造によれば、各内径が実質的に上記関係を満たすように設定されていることで、ラジアル導波路内に形成される第1の定在波と、天板部およびアンテナ部が位置する部分に形成される第2の定在波の位相が揃って、第1の定在波と第2の定在波との相互結合が、従来のプラズマ処理装置の場合よりも強くなる。これにより、プラズマ生成領域の形成維持に第1の定在波の寄与が支配的となる。
- 25       その結果、プラズマ生成領域の形成維持をアンテナ部によって制御することができ、プラズマ密度のばらつきが低減される。

      また、チャンバは、プラズマが形成される領域に臨む部分では所定の内径を有し、そのプラズマが形成される領域に臨む部分の内径をCとすると、およそ次の

式、 $C \leq A$ を満たすように設定されていることが好ましい。なお、この関係式においても、 $\lambda_g/10$ 程度の寸法誤差はこの関係を満たすものと解される。

これは、内径Cが内径Aよりも大きい場合には、チャンバ内に形成されるプラズマ生成領域がより大きくなってしまい、このプラズマ生成領域によって天板部の誘電率と空間の誘電率との合成誘電率の値がプラズマの状況とともに変化して上記関係を満たすことができなくなり、第1の定在波と第2の定在波との相互結合を強くすることができないと考えられるからである。

第2の定在波が形成される領域に位置する天板部は、具体的には石英板等の誘電体を含むことが好ましい。

10

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施の形態に係るプラズマ処理装置の断面図である。

図2は、同実施の形態において、プラズマ処理装置の動作を説明するためのマイクロ波の回転を示す図である。

図3は、同実施の形態において、プラズマ処理装置の動作を説明するための定在波の様子を示す断面図である。

図4は、同実施の形態において、プラズマ処理装置の動作を説明するためのラジアル導波路内において回転する定在波を示す図である。

図5は、同実施の形態において、変形例に係るプラズマ処理装置の断面図である。

20

図6は、従来のプラズマ処理装置の断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明の実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。図1に示すように、プラズマ処理装置は、基板15を収容して所定の処理を施すためのチャンバ1と、マイクロ波を発生するため高周波電源9と、マイクロ波をプラズマ処理装置まで導くための導波管19と、マイクロ波をチャンバ1内に放射するためのアンテナ部7とを備えている。

アンテナ部7は、導波管19の下端に接続される金属製のラジアル導波路7a

と、ラジアル導波路 7 a の下端の開口を覆う円板状のスロットアンテナ 7 b を備えている。スロットアンテナ 7 b の上の導波管 1 9 と対向する位置には、インピーダンスの調整を行うためのバンプ 8 が設けられている。また、導波路 7 a 内には大気が存在する。

- 5 スロットアンテナ 7 b は、たとえば厚さ 0.1 mm から数 mm 程度の銅板等から形成されている。そのスロットアンテナ 7 b には、マイクロ波をチャンバ 1 内に向けて放射するための複数のスロット（開口部）が設けられている。

- チャンバ 1 の上部には、チャンバ 1 の隔壁の一部を構成する天板 5 が配設されている。天板 5 は、たとえば石英等から形成されている。天板 5 とチャンバ 1 の  
10 隔壁との間には、たとえばリングなどのシール部材 1.3 が設けられている。アンテナ部 7 はこの天板 5 の上方に間隔を隔てて配置され、アンテナ部 7 と天板 5 との間には空気の層 2 0 が形成されている。

- チャンバ 1 内には基板 1 5 を保持するためのサセプタ 3 が設けられている。そのサセプタ 3 には、バイアス用の高周波電源 1 1 が接続されている。さらに、  
15 チャンバ 1 には、チャンバ 1 内を排気するための真空ポンプ（図示せず）が取り付けられている。

- 本プラズマ処理装置では、天板 5 およびアンテナ部 7 が位置する領域の内径 B とラジアル導波路 7 a の内径 A との差の半分の長さが、天板 5 およびアンテナ部 7 が位置する領域における大気（空気の層 2 0）の誘電率と天板 5 の誘電率との  
20 合成誘電率に基づくマイクロ波の波長  $\lambda_g$  の半分の長さの 0 を含む自然数倍となっている。すなわち、およそ次の式で表される寸法関係になっている。

$$(B - A) / 2 = (\lambda_g / 2) \cdot N \quad (N : 0 \text{ または自然数})$$

- さらに、チャンバ 1 の内径 C はラジアル導波路 7 a の内径 A より短く設定されているか、後述するように内径 C は内径 A と同じである。なお、N が 0 の場合は、  
25 内径 A と内径 B とが実質的に等しい場合である。また、上記寸法関係の式において、 $\lambda_g / 10$  程度の寸法誤差は、この関係を満たすものと解される。

次に、上述したプラズマ処理装置の動作について説明する。まず、真空ポンプによりチャンバ 1 内が排気されて、所定の圧力範囲のもとでプラズマを生成するためのガスとして、たとえばアルゴンガスがチャンバ 1 内に導入される。

高周波電源 9 によりマイクロ波として、円偏波の TE 1 1 モードのマイクロ波が発生する。図 2 に示すように、TE 1 1 モードのマイクロ波は、導波管 1 9 に設けられた円偏波変換器（図示せず）によって、導波管 1 9 の軸線の回りに矢印 Y に示す方向に回転させられるマイクロ波 2 1 として導波管 1 9 を伝わって、ラジアル導波路 7 a に到達する。

ラジアル導波路 7 a に到達したマイクロ波は、ラジアル導波路 7 a の周縁方向へ伝播する。周縁方向へ伝播するマイクロ波は、スロットアンテナ 7 b を介してチャンバ 1 内に電磁界を発生させる。

チャンバ 1 内に発生した電磁界によってアルゴンガスがイオン化し、基板 1 5 と天板 5 との間にプラズマ生成領域が形成されてプロセスガスが解離され、基板 1 5 に対して所定のプラズマ処理が行なわれる。

このとき、図 3 に示すように、ラジアル導波路 7 a の周縁方向へ伝播するマイクロ波がラジアル導波路 7 a の内周面によって反射されて、ラジアル導波路 7 a 内には第 1 の定在波 S 1 が形成される。

また、スロットアンテナ 7 b から放射されるマイクロ波と、そのマイクロ波がチャンバ 1 内に生成したプラズマ生成領域 1 7 によって反射されて戻ってくるマイクロ波との相互結合によって、天板 5 およびアンテナ部 7 が位置する領域に第 2 の定在波 S 2 が形成される。

このプラズマ処理装置では、上述した内径 A、内径 B およびマイクロ波の波長が上記関係式を満足することで、天板 5 およびアンテナ部 7 が位置する領域における内径 B と内径 A との差の半分の長さに対応する部分 L では、第 2 の定在波 S 2 において、実質的に波長  $\lambda_g / 2$  の自然数 N 倍または 0 倍の定在波が形成されることになる。なお、図 3 では、簡単のために N を 1 として、波長  $\lambda_g / 2$  の定在波が形成されている。

しかも、チャンバ 1 の内径 C がラジアル導波路 7 a の内径 A と実質的に同じかそれよりも短いことで、チャンバ 1 内に形成維持されるプラズマ生成領域 1 7 によって、天板 5 と空気の層 2 0 が位置する領域における大気誘電率と天板 5 の誘電率との合成誘電率の値が影響を受けることはほとんどないものと考えられる。

このことによって、図 3 に示すように、天板 5 と空気の層 2 0 が位置する領域

において中心から長さ  $A/2$  の位置  $P1$  では、第2の定在波  $S2$  の節が位置することになるとともに、中心から長さ  $B/2$  の位置  $P2$  においても節が位置することになる。

5 一方、ラジアル導波路  $7a$  内の中心から長さ  $A/2$  の位置  $P3$  においては、第1の定在波  $S1$  の節が位置することになる。

これにより、定在波  $S1$  と定在波  $S2$  の位相のずれがなくなって両定在波  $S1$ 、 $S2$  の位相が揃うことになる。その結果、定在波  $S1$  と定在波  $S2$  の相互結合が、従来のプラズマ処理装置の場合に比べてより強くなる。定在波  $S1$  と定在波  $S2$  の相互結合が強くなることで、チャンバ1内にプラズマ生成領域17を形成維持するの

10 定在波  $S1$  の寄与が支配的になる。

ところで、 $TE_{11}$  モードのマイクロ波は、導波管19の軸線の回りに回転させられるマイクロ波21として導波管19を伝わって、ラジアル導波路  $7a$  に到達するため、図4に示すように、定在波  $S1$  はラジアル導波路  $7a$  内において、矢印  $Y$  に示す方向に回転している。これによって、ラジアル導波路  $7a$  内では、

15 定在波  $S1$  の節と腹とが略同心円状に位置することになる。

したがって、プラズマ生成領域17を形成維持するのを支配する定在波  $S1$  において節と腹とが略同心円状に位置することによって、チャンバ1内には略同心円状のプラズマ密度分布を有するプラズマ生成領域17が形成維持されることになる。

20 すなわち、プラズマ生成領域17を形成維持するのにアンテナ部7のラジアル導波路  $7a$  内に形成される定在波  $S1$  の寄与が支配的になることで、プラズマ生成領域17を形成維持するための電磁界をアンテナ部7によって制御することができることになる。

これにより、従来のプラズマ処理装置の場合のように、不安定な定在波  $S2$  によって支配されるプラズマ生成領域に比べて、プラズマ生成領域17におけるプラズマ密度分布のばらつきが低減される。

25

その結果、基板15面内におけるプラズマ処理の程度のばらつきが低減されて、エッチングレートや成長レート等の基板15面内の均一性をより向上することができる。



なお、上述したプラズマ処理装置では、チャンバ1の内径Cがラジアル導波路7aの内径Aよりも短い場合を例に挙げて説明したが、図5に示すように、内径Cが内径Aと実質的に同じ長さを有するプラズマ処理装置であってもよい。

5   このようなプラズマ処理装置の場合においても、チャンバ1内に形成維持されるプラズマ生成領域17によって、天板5およびアンテナ部7が位置する領域における合成誘電率の値の変化はほとんどないものと考えられるため、定在波S1（アンテナ部7）によってプラズマ生成領域17を制御することができる。

10   なお、チャンバ1の内径Cがラジアル導波路7aの内径Aよりも長くなる場合には、チャンバ1内に形成維持されるプラズマ生成領域17がより大きくなる（たとえば、図6を参照）。

15   この場合には、プラズマ生成領域のプラズマの状態によって、天板5とアンテナ部7が位置する領域における合成誘電率の値が変化すると考えられる。合成誘電率の値が変化することで、波長 $\lambda_g$ の値が変わり上記関係式が満たされなくなり、定在波S1と定在波S2の相互結合を強くすることができなくなる。その結果、定在波S1（アンテナ部）によってプラズマ生成領域17の形成維持を制御することが困難になる。

20   したがって、本プラズマ処理装置では、上記関係式を満足するとともに、チャンバ1の内径Cはラジアル導波路7aの内径Aと実質的に同じ長さかそれよりも短く設定されていることで、プラズマ生成領域17をアンテナ部7によって制御することができ、プラズマ密度のばらつきが低減されて基板15面内におけるプラズマ処理の均一性をより向上することができる。

25   今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明は上記の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

#### 産業上の利用可能性

この発明は、チャンバ内にマイクロ波を導入することによって形成されるプラズマ生成領域によって、基板にエッチングや成膜などの所定のプラズマ処理を施

すプラズマ装置において、プラズマ生成領域を形成する電磁界を制御しプラズマ密度の均一性を向上する構造に有効に適用される。

## 請求の範囲

1. 基板をプラズマ生成領域に晒して所定の処理を施すためのプラズマ処理装置であって、
- 5 基板（15）を収容するためのチャンバ（1）と、  
前記チャンバ（1）内に導入される前記基板（15）の上方に配置され、前記チャンバ（1）の隔壁の一部をなす天板部（5）と、  
前記チャンバ（1）内に高周波電磁界を供給することにより、前記チャンバ（1）内における前記天板部（5）と前記基板（15）との間の領域にプラズマ生成領域（17）を形成するためのアンテナ部（7）と
- 10 を備え、  
前記アンテナ部（7）は所定の内径を有するラジアル導波路（17a）を含み、  
前記チャンバ（1）は、前記天板部（5）および前記アンテナ部（7）が位置する部分では所定の内径を有し、
- 15 前記ラジアル導波路（17a）の内径をA、前記天板部（5）および前記アンテナ部（7）が位置する部分の内径をB、前記天板部（5）の誘電率と前記天板部（5）および前記アンテナ部（7）が位置する部分の空間の誘電率との合成誘電率に基づく高周波電磁界の波長を $\lambda_g$ とすると、およそ次の式、  
$$(B-A)/2 = (\lambda_g/2) \cdot N \quad (Nは、0または自然数)$$
- 20 を満たすように設定された、プラズマ処理装置。
2. 請求項1に従属するプラズマ処理装置であって、  
前記チャンバ（1）は、前記プラズマが形成される領域に臨む部分では所定の内径を有し、  
前記プラズマが形成される領域に臨む部分の内径をCとすると、およそ次の式、
- 25 
$$C \leq A$$
  
を満たすように設定されている。
3. 請求項2に従属するプラズマ処理装置であって、  
前記天板部（5）は誘電体を含む。
4. 請求項1に従属するプラズマ処理装置であって、
- 30 前記天板部（5）は誘電体を含む。

FIG.1

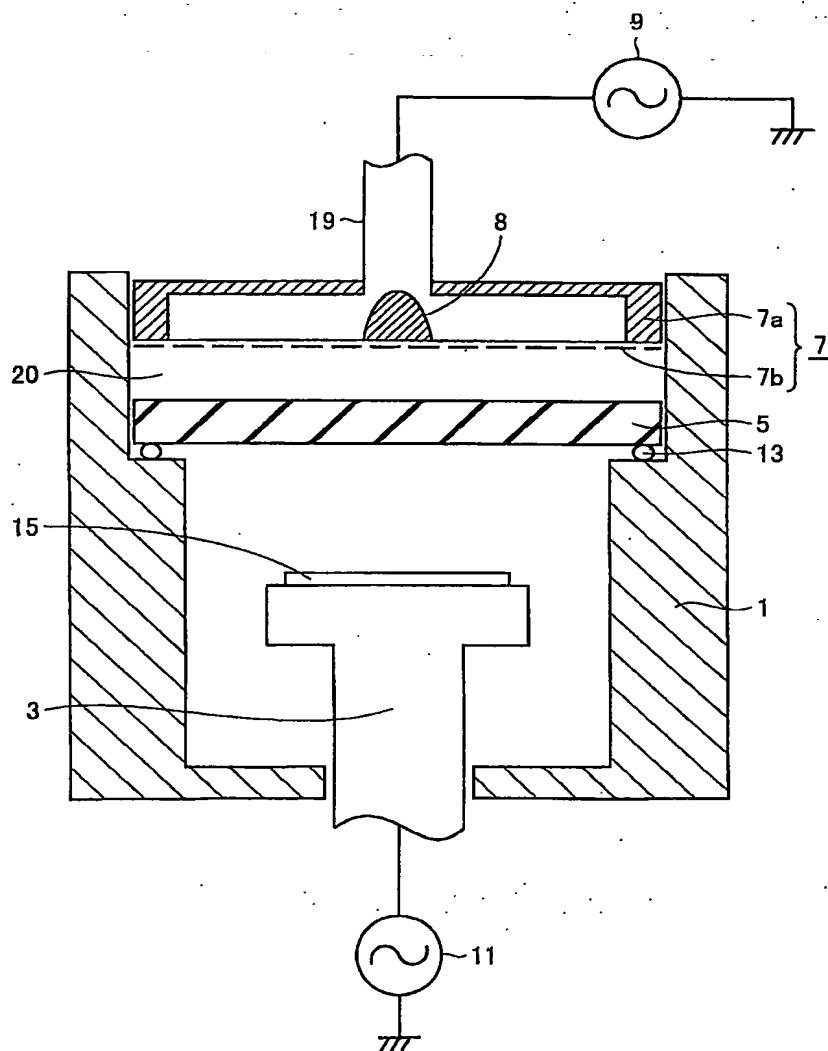


FIG.2

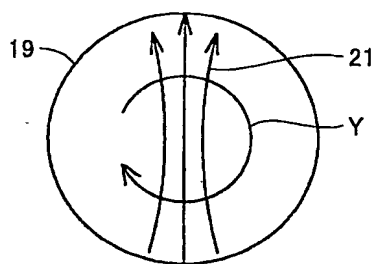


FIG.3

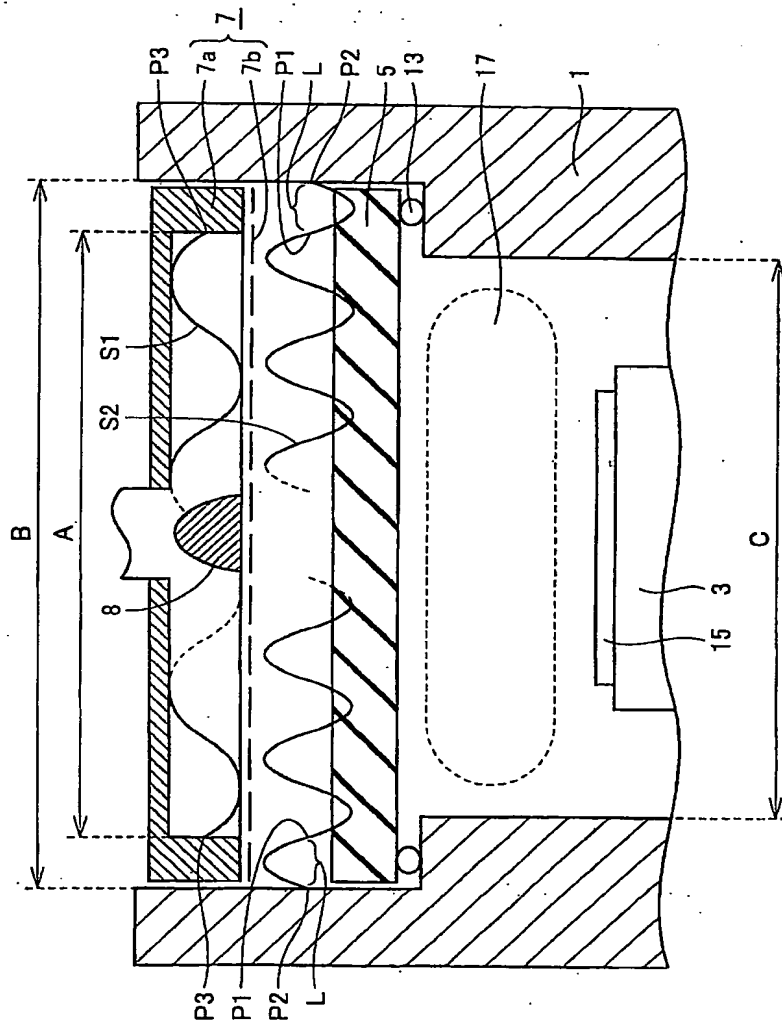


FIG.4

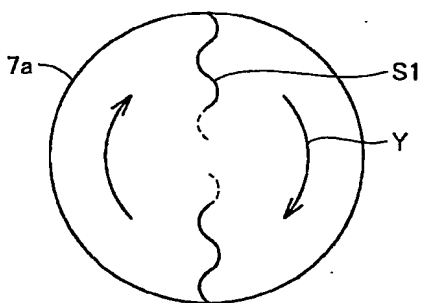


FIG.5

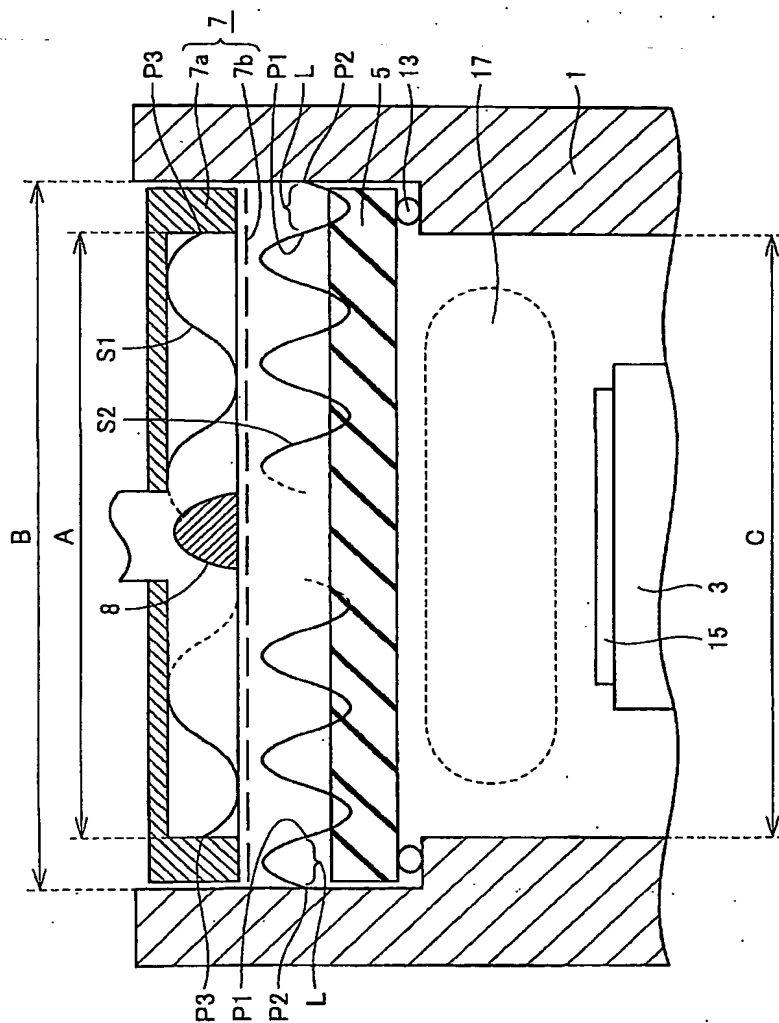




FIG.6

